

基于智能控制系统的陶瓷球磨机 神经网络控制方法的开发

王雪瑶¹ 刘石² 李志宏¹ 刘长春¹ 董毅峰³

(1 中国科学院工程热物理研究所 北京 100080) (2 华北电力大学 北京 102206)

(3 武汉理工大学机电工程学院 武汉 430070)

摘要 介绍了球磨机负荷智能监控系统的整体结构设计。采用声发射波传感器提取信号,用分布式的微型控制器控制球磨机的运行状态,保证了球磨机的良好运行。同时,笔者基于神经网络的概念具体分析了智能控制系统的控制方法的开发步骤,引入神经网络对球磨机模型进行辨识,通过对物理特性跟踪实现对产量的控制,使其以最小方差保持在最佳值附近,以便实现高产、稳产。

关键词 球磨机 智能控制系统 神经网络

The Development of Neural Network Control System of Circuit Ball Mill Based on Intelligent Control

Wang Xueyao¹, Liu Shi², Li Zhihong¹, Liu Changchun¹, Dong Yifeng³, (1 Institute of Engineering Thermophysics, CAS, Beijing, 100080)

(2 North China Electric Power University, Beijing, 102206) (3 Wuhan University of Technology, Wuhan, 430070)

Abstract: This paper introduces the constructional design of bowl mill. According to the work features of the bowl mill, this system uses the acoustic emission sensor to get the signal, it uses an distributive micro-controller to control the work conditions. A realization of neural network control system for ground material at a closed circuit ball mill, using neural network to establish reverse model, realize controlling of product quantity of ball mill through tracking physics characters is developed.

Key words: Ball mill; Intelligent control; Neural network

前言

自 19 世纪末第一台球磨机诞生以来,球磨机因其应用广泛、大功率、大产出的特点在矿业、建材、化工、冶金及电力部门等基础行业的原料粉碎中得到广泛的应用。随着陶瓷工业的发展,球磨机也成为了陶瓷工业中粉磨工序中不可缺少的机械设备。从长远来看,今后相当长的时期内球磨机仍将是陶瓷工业中原料磨碎作业的主要设备,因此对球磨机的研究也受到了相关专家的高度重视,近年来国内外的研究取得了许多成果^[1]。但是陶瓷工业中的球磨机承担着生料制备中各种原材料的粉磨任务,它通常存在着能耗大、效率低的缺点。球磨机的最大生产能力及最佳负荷随着原料的粒度、易磨性和研磨能力的变化而变化,由此可看出,球磨机系统是一个非线性、大滞后且具有时变特性

的复杂系统。笔者研究采用神经网络的方法对该系统进行控制,通过对系统的辨识及相对于产量最大时的最佳负荷的跟踪,控制负荷以最小方差保持在最佳值附近,以实现球磨机的高产、稳产。

1 智能控制的球磨机整体系统结构

智能控制的球磨机整体系统结构如图 1 所示。该系统采用分布式计算机控制,从而可以实现对多个球磨机的统一监控。各个子系统分别由各自的终端计算机来进行控制和管理,各个子系统之间由局域网络互相联接。由图 1 可以看出,各个子系统都是由 8031 单片机微控制器、声发射波检测装置、无级调速装置和人机接口几部分组成。

图 1 中,声发射波检测装置是将传感器感受到的声发射波信号转变为电信号,然后经过放大、滤波提高

* 基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2005CB422105)

信噪比后,成为 A/D 转换器的输入信号,并由 8031 单片机微处理器对数字信号进行处理,通过一定的程序将声发射波表征的球磨机负荷状态加以识别并采取相应的控制策略,对无级调速器进行速度调节,以控制球磨机的进料量,使球磨机处于最佳的负荷状态。人机接口的功能是设定球磨机的运行参数和显示球磨机的运行状态^[2]。

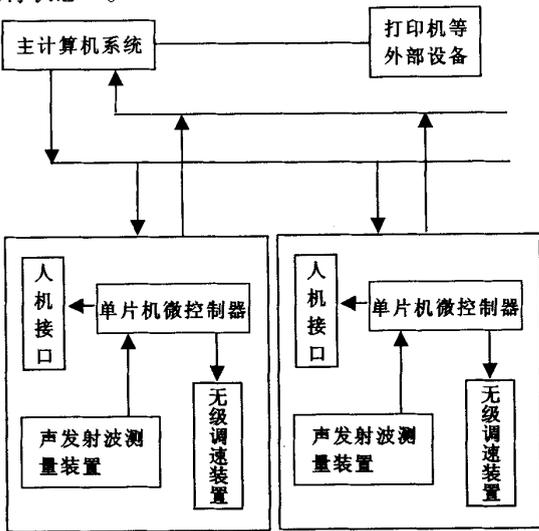


图1 智能控制的球磨机整体系统结构

在球磨机研磨物料过程中,球磨机内的物料受介质球和衬板的作用,其物理形状发生改变并释放出能量,所释放出能量的一部分转化成瞬态变化的压力波,即为声发射波。声发射波在传播过程中,碰撞周围物体,由于压力作用使物体表面产生微小的形变,声发射波的变化将改变微小形变的大小。也就是说物体表面所产生的微小形变的大小反映了球磨机内物料的物理状态变化特征,因此可以通过测量物体表面的微小变化来确定球磨机工作过程的负荷变化状况。

由于传感器的输出信号为毫伏级,信号比较弱,而从传感器到主机之间的距离又较长(约 20 m),信号在传输过程中极易被外界干扰,信号会发生衰减。为提高信噪比,增强传输能力,对信号必须进行放大处理。由于传感器至球磨机之间有一段距离,环境又恶劣,声发射波信号中必定带有干扰信号,故采用带通滤波网络,将干扰信号消除。最后,为满足性能和可靠性要求,必须选择转换速率快,精度高的 A/D 转换器件,而 MAX180 是完整的 72 位数据采集系统(DAS),具有高转换速率和低功耗特点,故可选用。球磨机的送料装

置采用无级调速的控制方法,通过模糊控制规则,用软件设定给料装置的送料速度。

2 球磨机闭路粉磨系统

球磨机系统工艺如图 2 所示。闭路球磨机是由球磨机和选粉机构成的闭路粉磨系统。待磨物料由磨头进球磨机,经粉磨后的物料由球磨机尾部卸出,经提升机送至选粉机,合乎细度要求的生料从选粉机下部排出,另一部分粗物料则由选粉机分出,并与新原料混合后再次送入磨头粉磨。闭路球磨机系统在稳态下各物料量存在如下关系:

$$M = X = G + V$$

根据闭路粉磨的静特性,随着球磨机入磨量 X(选粉机排出量为 G,球磨机出磨量为 M)的增加,成品量 V 逐渐增至最大值,其后若再继续增加入磨量,成品量反而下降,最终将降为零,这就是所谓“闭磨”。

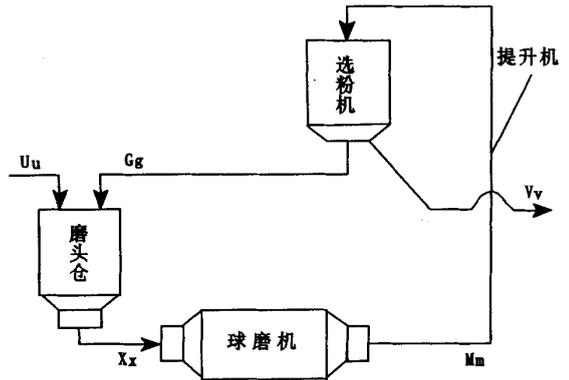


图2 球磨机系统工艺

因此,我们将球磨机控制在最佳工况,这时的成品量最大,球磨机出磨量处于最佳值 M_0 ,入磨量处于最佳值 X_0 。但是随着物料易磨性及研磨体研磨能力等的变化,各个最佳值是会发生变化的。

3 基于神经网络的控制系统

神经网络控制系统模型如图 3 所示。神经网络控制是指在控制系统中采用神经网络这一工具对难以精确描述的或是数学模型复杂的非线性对象进行建模,或充当控制器,或优化计算,或进行推理,或故障诊断,或者同时兼有上述某些功能的适当组合。设被控制对

象的输入量 u 和系统输出量 y 之间满足如下非线性函数关系： $y = g(u)$ ，控制的目的是确定最佳控制输入量 u ，使系统的实际输出量 y 等于期望的输出最大量 y_d 。在神经网络控制系统中，把神经网络的功能看作输入输出量的某种映射，或称函数变换，并设它的函数关系为 $u = f(y_d)$ ，为了满足系统输出量 y 等于期望的输出最大量 y_d ，由上述两式得：

$y = g[f(y_d)]$ ，当 $f(\cdot) = g^{-1}(\cdot)$ 时，满足 $y = y_d$ 的要求^[3-5]。

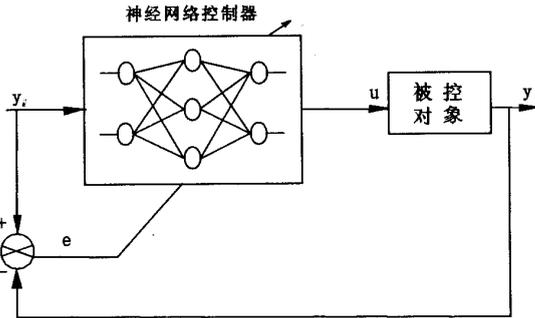


图3 神经网络控制系统模型

当被控对象是复杂的且具有不确定性时，非线性函数 $g(\cdot)$ 是难以建立的，在神经网络控制系统中可以利用神经网络具有的逼近非线性函数的能力来模拟 $g^{-1}(\cdot)$ ，通过系统的实际输出量 y 与期望输出最大量 y_d 之间的误差来调整神经网络中的连接权值，即让神经网络学习，直至误差 $e = y_d - y \rightarrow 0$ 的过程，就是神经网络模拟 $g^{-1}(\cdot)$ 的过程，它实际上是对被控对象的一种求逆过程，由神经网络的学习算法来实现这一过程，亦即实现了神经网络的直接控制^[6]。

神经网络学习控制的结构有很多种，按形式分可以有间接学习、一般学习、特殊学习及一般和特殊相结合的学习结构。在这些结构当中，有一些包含 2 个结构不同的神经网络结构。在应用过程当中，可根据实际工业过程的特点和控制要求来选择相应的结构以建立控制模型。

4 应用结果

现利用以上方法对某一具体的闭路球磨机进行神经网络控制仿真实验，其数学模型为：

$$m(k+1) = -3.02 + 0.3m(k) + 0.02m(k-1) + 0.018m^2(k) + 0.012m^2(k-1) + 0.2u$$

$$(k-2) + 0.08u(k-3) + e(k+1)$$

其中： m 为出磨物料量， u 为原料量， e 为干扰信号。在神经网络控制系统中构造一个 3 层的辨识网络，网络输入节点数、隐层节点数、输出节点数分别为 1、30、1，学习率 Lanbuta 、 Beta 分别为 0.45、0.55，样本空间为 25 对，经过 5 000 次的学习，误差下降到 0.000 262 935。然后将目标型线数据输入控制网络模型，得到输入的最佳值，从而可得到最佳输出值。在采样时刻 $140 < k < 210$ 时，让模型参数以随机微小增量 ($-0.000 2$, $+0.000 2$) 作缓慢地变化，由图 4~图 6 可以看出，神经网络控制器能及时地改变原料输入量，保证 m 以最小方差监控 M_0 的变化，且在一定的时间内达到并保持平衡。

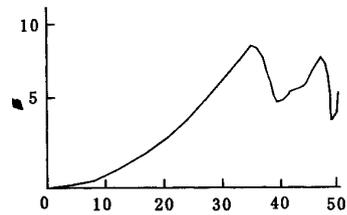


图4 无控制作用下的出磨物料量的变化曲线

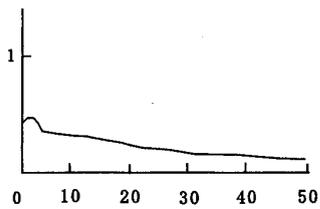


图5 神经网络训练误差曲线训练次数(×100)

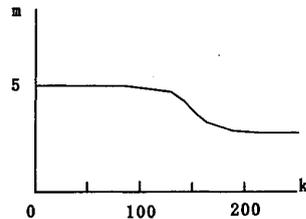


图6 在神经网络控制系统控制下的出磨物料量

5 结论

研制的球磨机负荷智能监控系统，可针对控制现场灵活地采用单机或多机网络方式工作，功能完善，性能可靠，降低了工人劳动强度，减少能耗 5% 以上，同时提高了生产效率，降低成本，经多家水泥厂使用，系统性能良好。同时，将神经网络应用于球磨机产量的控制中，充分考虑到球磨机机械系统的非线性特征，网

络模型可连续辨识,不仅准确描述了系统的静态特性,也包含了系统在参数变化时的动态特性,以对球磨机输入进行及时校正,可取得良好的控制效果。

参考文献

1 段希祥,曹亦俊.球磨机介质工作理论与实践.北京:冶金工业出版社,1999

2 何立民.单片机应用系统设计.北京:北京航空航天大学出版社,1990

3 马景娣,顾钟文,周春晖.闭路球磨机产量极值自适应控制方法的研究.浙江大学学报,1995,20(6):212~216

4 田明,戴汝为.神经网络控制系统.信息与控制,1992,21(3):157~161

5 刘廷章,卢秉恒,惠廷波,等.复杂曲面车削精度的神经网络控制.机械工程学报,1997,33(2):55~59

6 Tarrng Y S, Hwang S T, Wang Y S. A neural network controller for constant turning force. Int Mach Tools Manufact, 1994, 34(4): 453~460

(上接第 26 页)

目前,我国常用的陶瓷蜂窝载体规格有 100 孔/in²、200 孔/in²、300 孔/in² 和 400 孔/in²,常用的金属蜂窝载体规格有 400 孔/in²、500 孔/in² 和 600 孔/in²。目前最高的孔密度可达 1 200 孔/in²,壁厚约为 0.051 mm。

下面以 400 孔/in²、300 孔/in² 的陶瓷蜂窝载体来比较正方形及三角形 2 种孔道的几何特性,300 孔/in² 的载体壁厚为 0.30 mm,400 孔/in² 载体壁厚为 0.15 mm。将参数代入正方形及三角形孔型结构数学表达式中,计算得出 2 种载体的几何特性。

2 种载体的几何特性比较见表 2,简化计算过程,忽略圆角半径 R 不计。

表 2 2 种载体的几何特性比较

孔密度 (孔/in ²)	壁厚 (mm)	孔形	孔间距 (mm)	孔隙率 (%)	几何表面积 (m ² /m ³)
400	0.15	正方形	1.27	76	2 790
		三角形	1.93	74	3 106
300	0.30	正方形	1.47	60	2 205
		三角形	2.23	58.8	2 384

从表 2 可以看出,当孔密度和壁厚相同时,400 孔/in² 的正方形孔型比三角形孔型几何表面积小 10% 左右,孔隙率大 3% 左右;300 孔/in² 的正方形孔型比三角形的几何表面积小 8% 左右,孔隙率大 2% 左右。但是三角形孔型的载体每个连接点处应力集中大,其强度不如方孔。

采用减薄管壁、增加蜂窝密度的方法可以提高蜂窝载体的几何表面积,以期达到提高催化效率的目的。

但与此同时,也带来不利因素,对于孔隙率及压力差都有负面的影响。

3 展望

蜂窝陶瓷载体的几何特性参数是影响蜂窝陶瓷载体选择重要因素之一,优化蜂窝载体的结构参数,可以有效的控制排放,提高催化转化率。另外,对蜂窝载体中传热传质特性及流动特性的研究,催化载体的选择也有着重要的意义,有必要对载体内部的传热传质特性展开深入的研究。

参考文献

1 Jimmie L, Williams. Monolith structures, materials, properties and uses. Catalysis Today,2001, 69:3~9

2 周燕,徐晓虹,陈虹.堇青石质蜂窝陶瓷载体.陶瓷研究,2002,17(1):9~12

3 邵潜,龙军,贺振富.规整结构催化剂及反应器.北京:化学工业出版社,2005

4 邓重宁.蜂窝陶瓷载体孔型结构的数学参数浅析.全国性建材科技期刊——陶瓷,2000(3):21~23

5 Thorsten Boger, Achim K. Heibel heat transfer in conductive monolith structures. Chemical Engineering Science,2005, 60:1 823~1 835

6 Peng Y, Richardson J T. Properties of ceramic foam catalyst supports: one - dimensional and two - dimensional heat transfer correlations. Applied Catalysis A: General,2004, 266:235~244

基于智能控制系统的陶瓷球磨机神经网络控制方法的开发

作者: [王雪瑶](#), [刘石](#), [李志宏](#), [刘长春](#), [董毅峰](#), [Wang Xueyao](#), [Liu Shi](#), [Li Zhihong](#),
[Liu Changchun](#), [Dong Yifeng](#)

作者单位: [王雪瑶,李志宏,刘长春,Wang Xueyao,Li Zhihong,Liu Changchun\(中国科学院工程热物理研究所,北京,100080\)](#), [刘石,Liu Shi\(华北电力大学,北京,102206\)](#), [董毅峰,Dong Yifeng\(武汉理工大学机电工程学院,武汉,430070\)](#)

刊名: [陶瓷](#) **ISTIC**

英文刊名: [CERAMICS](#)

年,卷(期): 2007, "" (7)

引用次数: 0次

参考文献(6条)

1. [段希祥,曹亦俊](#) [球磨机介质工作理论与实践](#) 1999
2. [何立民](#) [单片机应用系统设计](#) 1990
3. [马景婵,顾钟文,周春晖](#) [闭路球磨机产量极值自适应控制方法的研究](#) 1995(06)
4. [田明,戴汝为](#) [神经网络控制系统](#) 1992(03)
5. [刘廷章,卢秉恒,惠廷波](#) [复杂曲面车削精度的神经网络控制](#) 1997(02)
6. [Tarnq Y S,Hwang S T,Wang Y S](#) [A neural network controller for constant turning force](#) 1994(04)

相似文献(7条)

1. 学位论文 [赵志刚](#) [仿人智能控制及其在球磨机控制系统中的应用](#) 1999
该文在分析了中间储仓式制粉系统球磨机的运行特性之后,基于仿人智能控制理论,设计了球磨机仿人智能控制系统.对于球磨机这类变量间耦合严重的多变量复杂系统,采用常规PID控制无法达到控制目的.通过分析,从理论和仿真结构两方面说明了将仿人智能控制应用于球磨机制粉系统具有很大的优越性-系统兼顾了传统控制理论中认为是不可调和的矛盾的两方面(快速性和稳定性).
2. 期刊论文 [刘军,马海林,焦海杰,高广福](#) [火电厂球磨机智能控制系统-中国设备工程2005, "" \(2\)](#)
以球磨机本体运行调节需求和运行操作经验为基础,设计以仿人控制为主体,多种控制方式相结合的智能控制系统.该系统从结构上实现了静态解耦和风量协调,合理组合了仿人控制、比值控制和非线性PID控制算法优势.工程应用表明,该控制系统能解决球磨机运行优化和控制优化的双重问题,控制系统鲁棒性强,具有工况自适应能力.
3. 学位论文 [赵登峰](#) [双进双出钢球磨煤机煤位识别及控制技术研究](#) 2001
该文针对煤位识别及控制技术进行了研究.通过比较国内外常用的五种球磨机筒体煤位识别方法,指出噪声法是煤位检测技术发展的方向.通过对筒体声辐射信号的数据分析处理,提出了基于“能量-频段”的煤位敏感声频段识别方法,利用小波变换技术,确定了筒体煤位敏感的声频段为600~2500Hz.球磨机筒体煤位智能控制系统是一个复杂、变参数非线性系统,很难获得精确的数学模型.利用模糊控制理论,建立了噪声法煤位模糊控制模型,设计了球磨机筒体煤位的模糊控制系统,模拟实验结果表明,电控系统工作可靠,输出控制信号正确,表明了模糊控制规则的合理性和模糊控制模型的有效性,验证了噪声法煤位模糊控制系统的可行性.
4. 期刊论文 [裴正广,叶国庆,龚天华,PEI Zheng-guang, YE Guo-qing, GONG Tian-hua](#) [磷矿选矿技术集成创新探讨-磷肥与复肥2009, 24\(3\)](#)
利用和集成先进技术,创新磷矿选矿设备与工艺,是降低选矿成本的有效方式.介绍球磨机轴承运用滚动轴承并采用智能控制系统,使用电子水处理器有效利用低位热能以及浮选柱替代浮选机等先进技术,可取得节省投资、节能降耗、显著降低选矿成本的良好效果.
5. 学位论文 [王海波](#) [磨矿分级智能控制系统在焦家金矿的研究应用](#) 2006
论文以山东黄金集团焦家金矿磨矿分级测控自动化项目为对象,研究了冶金行业磨矿过程自动控制、参数优化和信息集成技术,提出了三层实现方案.
磨矿是选矿工艺的重要一环,其主要目标是在保证矿物粒度的基础上使得产量最大化.磨矿过程是一个复杂的多变量、非线性和大时滞过程.论文根据控制目标,在分析系统模型基础上,结合磨矿系统特点,提出了前馈、串级、死区控制在磨矿系统的应用.论文选取了与质量和产量密切相关的旋流器协调控制和磨机给矿及负荷模糊控制两个子系统作了重点分析,采用模糊控制算法,对球磨机的运行状态进行判断并提出优化控制策略,实际控制效果证明了算法的有效性.
本论文还研究了利用单纯形法进行控制器参数优化,并在实际中得到应用.
论文还研究了集散系统中以数据库为核心的信息集成、工业以太网及Web技术在DCS中的应用.
在充分研究磨矿过程自动控制、效益优化和信息集成技术基础上,提出了磨矿DCS的过程控制级、过程监控级和生产管理级三层实现方案.
实际运行表明,本文设计的磨矿过程优化控制系统有效、经济、可靠,不仅适用于冶金行业,同时对采用自动化和信息化改造传统行业都具有重要的借鉴意义.
6. 期刊论文 [葛文胜](#) [基于专家模糊智能的中储式球磨机制粉控制系统-华北电力技术2004, "" \(8\)](#)
针对中储式球磨机制粉系统被控制参数具有多变量、非线性、强时变性而难以用常规手段实现自动控制的现状,提出一种基于专家模糊控制的方案.采用专家智能算法实时调整模糊控制的耦合结构,对控制目标进行优化,采用MECS-2003人工智能控制系统组态软件实现实时优化模糊控制.工程应用表明了系统设计的有效性.
7. 学位论文 [夏卿](#) [磨矿分级模糊智能控制系统及取消浓度检测点的初步探索](#) 1998
计算机的迅猛发展使得它在选矿生产过程中得到日益广泛的应用.而磨矿分级作业作为选矿厂生产的最重要的一个环节,其过程控制一直是一个倍受重视的领域.该文系统地阐述计算机过程控制在磨矿分级生产过程中的应用与发展状况,在总结前人的经验基础上,针对磨矿分级作业在控制中表现出的一

些特殊性质,如非线性、大滞后、慢时变性,造成建立在数学模型基础上的传统PID控制效果不好的情况,采用模糊逻辑方法对磨矿分级过程实行控制.控制的主要内容是:控制球磨机的给矿量,控制磨矿浓度和溢流浓度,从而间接地控制溢流产品的细度.并在此基础上进一步提出取消浓度检测点,即在不使用浓度计的情况下,直接调节给矿量、给水量控制细度的观点.通过实验数据及用回归分析和其它数学方法分析得出的相关数学模型,从理论上证实了这一观点实现的可能性,为简化控制环节、提高控制系统水准、降低系统成本等奠定了理论基础.该系统已成功地在酒泉钢铁公司投入运行.该研究的成功,对于推动磨矿分级过程控制的发展、稳定选矿生产、提高选矿厂生产技术指标、促进选矿厂的现代化均有着重大意义.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_tc200707009.aspx

下载时间: 2010年5月31日